Expérience de Franck-Hertz avec le néon

Tracé et exploitation
avec «Mesure et commande»

Objectifs expérimentaux

- Tracé assisté par ordinateur d'une courbe de Franck-Hertz pour le néon
- Mesure de la libération d'énergie discontinue d'électrons libres en cas de choc inélastique
- Interprétation du résultat de mesure sous forme d'absorption d'énergie discrète d'atomes de néon
- Observation des raies spectrales du Ne suite à l'excitation par choc électronique d'atomes de néon
- Identification du phénomène de luminescence sous forme de couches à haute probabilité d'excitation

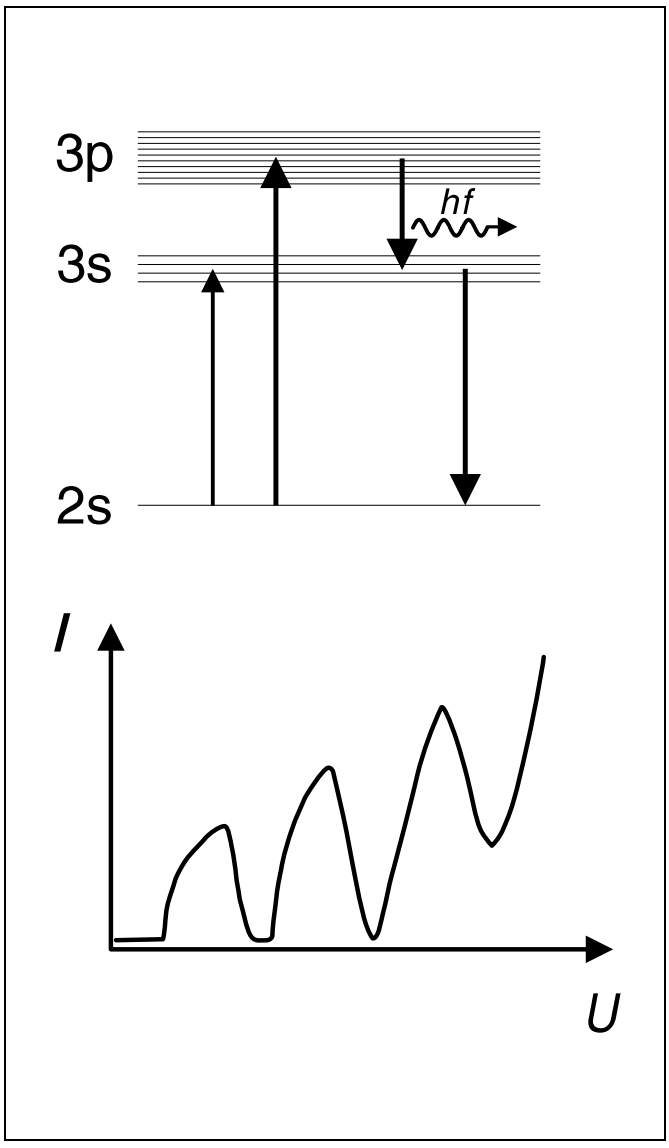


Diagramme énergétique simplifié du néon (en haut) et représentation schématique du courant électronique qui circule vers le collecteur en fonction de la tension d'accélération dans le cas de l'expérience de Franck-Hertz avec le néon (en bas)

Principes de base

C'est *James Franck* et *Gustav Hertz* qui ont découvert en 1914 l'émission de la raie ultraviolette (λ = 254 nm) du mercure en corrélation avec leur étude consacrée à la «perte d'énergie progressive au passage d'électrons dans de la vapeur de mercure». Comme l'observation directe de l'émission de lumière n'est pas possible, la mise en évidence exige le recours à l'expérimentation.

Les circonstances sont complètement différentes pour le gaz rare néon. L'excitation suscitée par le choc électronique inélastique à partir de l'état fondamental a lieu avec la plus grande probabilité dans les dix états 3p situés entre 18,4 eV et 19,0 eV au-dessus de l'état fondamental. Les quatre états 3s légèrement en-dessous avec 16,6 eV à 16,9 eV sont excités avec une moins grande probabilité. La désexcitation des états 3p à l'état fondamental avec émission de photons n'est possible qu'en passant par les états 3s. La lumière ainsi émise est dans le domaine du visible entre rouge et vert et peut donc s'observer à l'oeil nu.

Matériel

1 Cassypack-E	524 007
1 disquette: Mesure et commande	525 033
1 tube de Franck-Hertz au néon	555 870
1 support avec socle et blindage pour 555 870	555 871
1 câble de raccordement pour tube de FH au néon	555 872
1 alimentation pour tube de Franck-Hertz	555 88

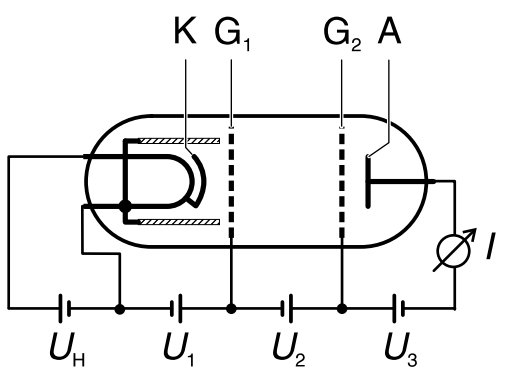
En supplément: 1 PC avec Windows à partir de la version 3.1 ou Windows 95

Dans un tube en verre sous vide, on met du gaz néon exposé à la température ambiante et à une pression d'env. 10 hPa. Le tube en verre comprend un système planaire de quatre électrodes (voir fig. 1). La cathode K a tout près d'elle une électrode de commande G_1 en forme de grille, un peu plus loin une grille d'accélération G_2 avec à côté, une électrode collectrice A. Le chauffage de la cathode est indirect afin d'éviter une différence de potentiel le long de K.

Des électrons s'échappent de la cathode chaude et forment un nuage de charge d'espace. Ils sont aspirés par la tension U_1 entre la cathode et la grille G_1. Le courant d'émission est quasiment indépendant de la tension d'accélération U_2 entre les grilles G_1 et G_2, abstraction faite d'une inévitable pénétrabilité. Entre la grille G_2 et le collecteur A, il y a une tension inverse U_3. Seuls des électrons avec une énergie cinétique suffisante arrivent à l'électrode collectrice et apportent leur contribution au courant du collecteur.

Dans l'expérience, on augmente la tension d'accélération U_2 de 0 V à 80 V pour une tension d'aspiration U_1 fixe et une tension inverse U_3, puis on mesure le courant du collecteur I_A correspondant. Dans un premier temps, il augmente un peu comme dans le cas d'une tétrode classique, mais il atteint un maximum lorsque l'énergie cinétique des électrons suffit juste devant la grille G_2 pour délivrer par collision l'énergie requise pour l'excitation d'un atome de néon. Le courant du collecteur baisse nettement étant donné que les électrons ne peuvent plus surmonter la tension inverse U_3 après le choc.

Fig. 1: Représentation schématique du tube de Franck-Hertz au néon



Au fur et à mesure que la tension d'accélération U_2 augmente, les électrons atteignent l'énergie nécessaire à l'excitation des atomes de néon toujours plus loin avant la grille G_2. Après le choc, ils sont à nouveau accélérés et absorbent à nouveau, pour une tension d'accélération suffisante tellement d'énergie du champ électrique qu'ils peuvent exciter un atome de néon. Il s'en suit un second maximum et pour une tension U_2 encore plus grande, d'autres maxima du courant du collecteur I_A.

Pour des tensions d'accélération plus élevées, on observe des couches fluorescentes rougeâtres nettement séparées les unes des autres entre les grilles G_1 et G_2. Une comparaison avec la courbe de Franck-Hertz montre qu'il s'agit de couches à forte densité d'excitation.

Montage

Le montage expérimental est représenté à la fig. 2.

d'abord:

- Fixer le tube de Franck-Hertz dans le support avec socle et le brancher à la douille **(a)** de l'alimentation pour tube de Franck-Hertz à l'aide du câble de raccordement.
- Brancher l'alimentation pour tube de Franck-Hertz à CASSY à l'aide du câble de raccordement à 14 pôles **(b)**.

Les entrées et sorties suivantes sont ainsi reliées entre elles:

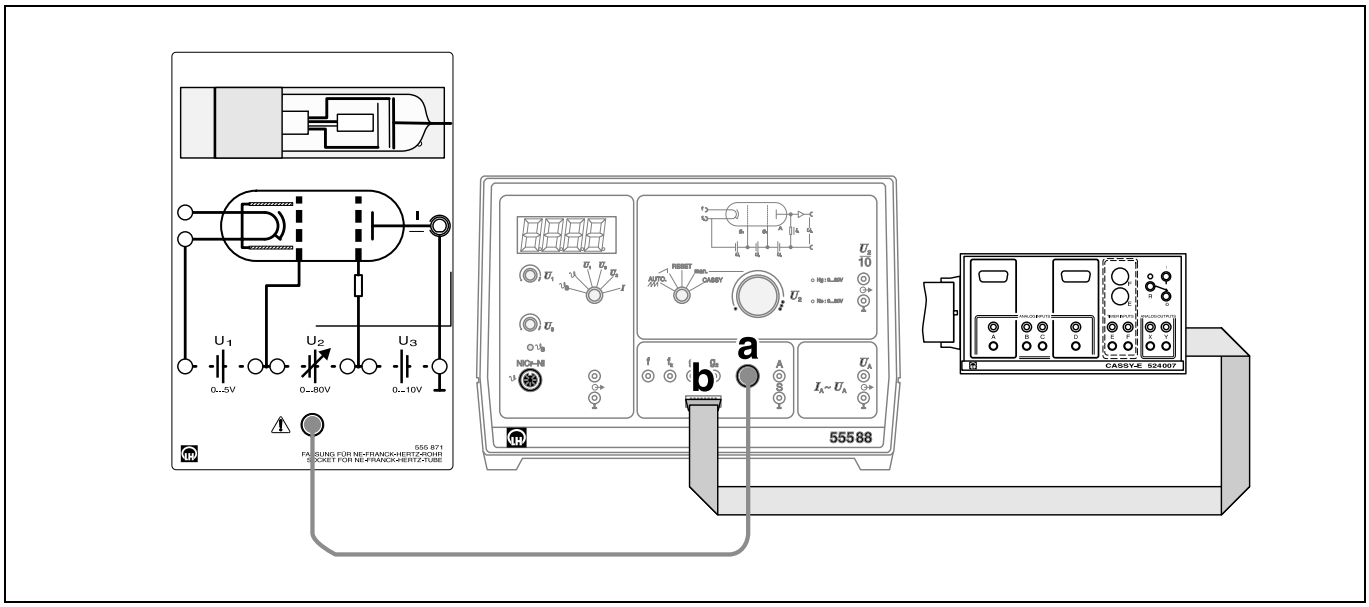
Alimentation pour tube de Franck-Hertz	*CASSY*
Entrée de commande	Sortie X
Tension U_1	Entrée A
Tension U_A	Entrée B
Tension $U_2/10$	Entrée C
Tension U_3	Entrée D

Mesure et commande:

Les paramètres ϑ_s, U_1 et U_3 sont réglés à la main sur l'alimentation pour tube de Franck-Hertz, la tension U_2 est réglée avec le PC et CASSY. Il faut pour cela appliquer la tension U_X croissante en forme de rampe à l'entrée de commande de l'alimentation. Il est ici choisi un temps de montée de la rampe et un temps de mesure total de 60 s.

- Charger le fichier fh.lhw sous Windows par la mise en route de l'application *Franck-Hertz* puis modifier et compléter comme suit les unités préparées de mesure, de commande et d'exploitation:
- Dans le programme *Mesure et commande,* définir les unités suivantes de mesure, de commande et d'exploitation:

Menu «Canaux → Entrées → Entrée analogique … »
Entrée A
Grandeur mesurée = tension UA, gamme de mesure = 0 V … 10 V
Entrée C
Grandeur mesurée = tension UC, gamme de mesure = –10 V … 10 V
Entrée D
Grandeur mesurée = tension UD, gamme de mesure = –10 V … 10 V



Menu «Canaux → Sorties → Sortie analogique … »
Sortie X
Grandeur = tension UX,
Formle = 8 * (shift(t/60) – (t > 60))

Menu «Canaux → Formule … »
Grandeur = tension d'aspiration
Symbole = U1, unité = V,
Gamme = 0 V … 10 V, formule = UA
Grandeur = tension d'accélération
Symbole = U2, unité = V,
Gamme = 0 V … 80 V, formule = 10*UC
Grandeur = tension inverse
Symbole = U3, unité = V,
Gamme = 0 V … 10 V, formule = UD

Optimisation de la courbe de Franck-Hertz:

– régler la tension d'aspiration U_1 = 1,5 V, la tension inverse U_3 = 5 V et le mode de fonctionnement CASSY.
– effacer les données de mesure existantes avec la touche «Suppr».
– avec la touche «Espace», lancer le tracé de la courbe FH et terminer le relevé avec «Ctrl + Espace».

a) Optimisation de U_1:

Plus la tension d'aspiration U_1 est élevée, plus le courant d'émission des électrons est important.

Si la courbe de Franck-Hertz monte en pente trop raide, donc si déjà en-dessous de U_2 = 80 V la capacité de charge de l'amplificateur de mesure du courant est atteinte et que la courbe de Franck-Hertz est coupée en haut (voir fig. 3a):

– réduire U_1 jusqu'à ce que la pente de la courbe corresponde à la fig. 3c.

Si la courbe de Franck-Hertz monte trop faiblement, donc si le courant du collecteur I_A reste partout inférieur à 5 nA (voir fig. 3b):

– augmenter U_1 jusqu'à ce que la pente de la courbe corresponde à la fig. 3c.
– éventuellement optimiser le chauffage de la cathode conformément au mode d'emploi de l'alimentation pour tube de Franck-Hertz.

Fig. 2: Montage expérimental pour l'expérience de Franck-Hertz avec le néon

b) Optimisation de U_3:

Plus la tension inverse U_3 est élevée, plus les maxima et les minima de la courbe de Franck-Hertz sont marqués, le courant du collecteur étant, dans l'ensemble, simultanément réduit.

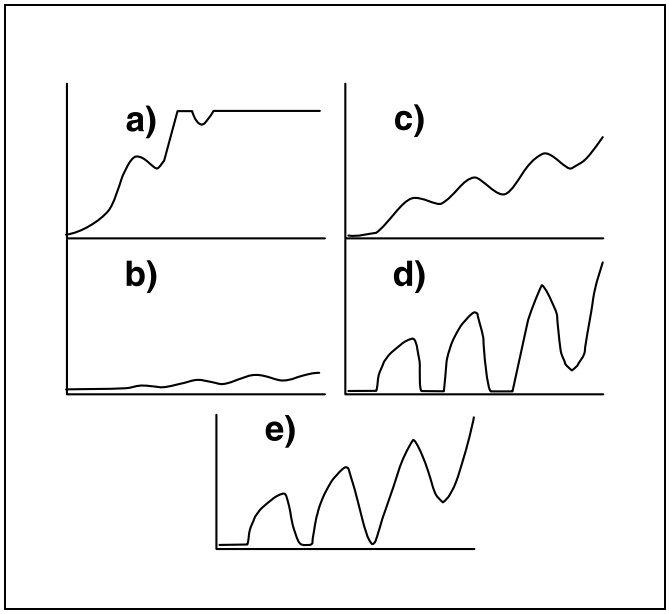
Si les maxima et les minima de la courbe de Franck-Hertz sont mal marqués (voir fig. 3c):

– augmenter alternativement d'abord la tension inverse U_3 (maximum 18 V) et ensuite la tension d'aspiration U_1 jusqu'à obtention de la forme de courbe de la fig. 3e.

Si les minima de la courbe de Franck-Hertz sont «coupés» à la base (voir fig. 3d):

– réduire alternativement d'abord la tension inverse U_3 (maximum 18 V) et ensuite la tension d'aspiration U_1 jusqu'à obtention de la forme de courbe de la fig. 3e.

Fig. 3: Schéma synoptique pour l'optimisation des courbes de Franck-Hertz par le choix approprié des paramètres U_1 et U_3



Réalisation

a) Courbe de Franck-Hertz

– Effacer les données de mesure existantes avec la touche «Suppr».
– Avec la touche «Espace», lancer le tracé de la courbe de Franck-Hertz et terminer le relevé avec «Ctrl + Espace».
– Cliquer le point de menu «*Exploitation → Placer une marque → Ligne verticale*» et marquer à vue d'oeil le centre du premier maxima de la courbe FH.
– Cliquer le point de menu «*Exploitation → Placer une marque → Texte*»

et positionner le texte suggéré sur la ligne.

– Procéder de la même façon au placement des marques pour les autres maxima.
– Cliquer le point de menu «*Fichier → Enregistrer sous*» et mémoriser les données sous un nom éloquent.

b) Emission de lumière

– Positionner le commutateur du mode de fonctionnement sur MAN.
– Optimiser la tension d'accélération U_2 jusqu'à ce qu'il soit possible d'observer une zone luminescente rouge-jaune entre les grilles G_1 et G_2.
– Chercher en supplément les tensions d'accélération optimales pour deux ou trois zones luminescentes et établir un protocole des valeurs.

Exemple de mesure et exploitation

a) Courbe de Franck-Hertz

U_1 = 2,00 V
U_3 = 7,94 V

L'écartement des marques verticales sur la fig. 4 est en moyenne ΔU_2 = 18,5 V.

Cette valeur est nettement plus proche pour des énergies d'excitation des niveaux 3p du néon (18,4–19,0 eV) que pour celles des niveaux 3s (16,6–16,9 eV). Ces derniers sont donc excités par un choc électronique inélastique avec une probabilité nettement moins grande.

La sous-structure de la courbe mesurée montre que l'excitation des niveaux 3s ne peut pas être complètement négligée. On constate que pour les chocs doubles et multiples, il survient toutes les combinaisons de l'excitation d'un niveau 3s et d'un niveau 3p.

b) Emission de lumière:

U_1 = 2,00 V
U_3 = 7,94 V

Les couches luminescentes sont des zones à forte densité d'excitation. Elles peuvent être directement comparées avec les minima de la courbe de Franck-Hertz. Leur écartement correspond à une tension d'accélération U_2 = 19 V. Il se forme donc une couche luminescente supplémentaire si on augmente U_2 d'env. 19 V (voir tableau 1).

Tableau 1: Nombre *n* de zones luminescentes en fonction de la tension d'accélération U_2

n	U_2
1	30 V
2	48 V
3	68 V

Information supplémentaire

Les raies spectrales du néon qui sont émises s'observent et se mesurent très facilement par ex. avec le spectroscope scolaire (467 112) si on règle la tension d'accélération U_2 sur sa valeur maximale.

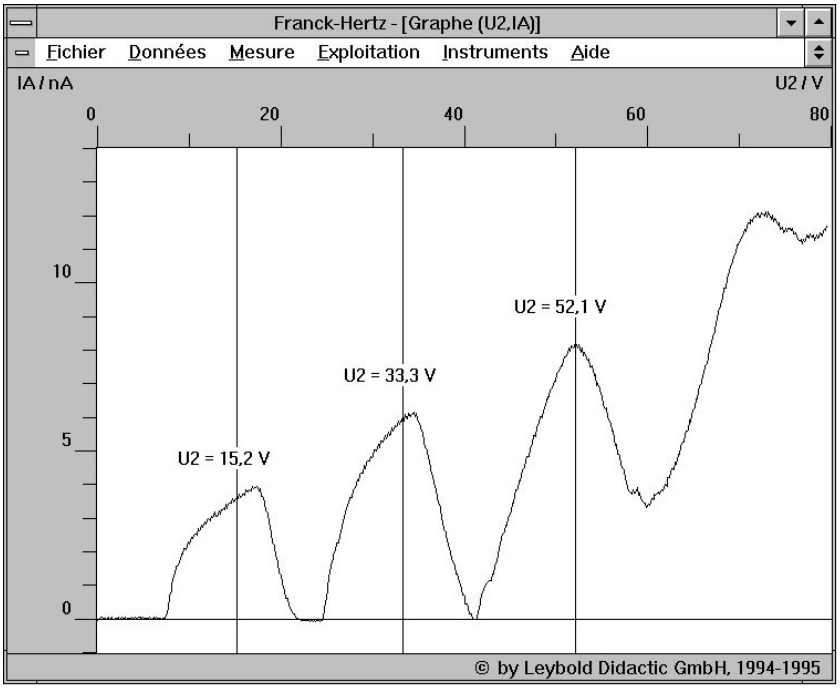


Fig. 4:
Courbe de Franck-Hertz pour le néon

© by Leybold Didactic GmbH
Printed in the Federal Republic of Germany
Technical alterations reserved